

Untersuchungen
über die Quecksilber-Konzentrationen
in Blut, Ausatemluft und Speichel

von
Franz Georg Loh
aus
Adelsdorf

Diss. Erlangen
1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. A. Kröncke

Untersuchungen
über die Quecksilber-Konzentrationen
in Blut, Ausatemluft und Speichel

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich - Alexander - Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Franz Georg Loh
aus
Adelsdorf

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. F. Wolf
Referent: Prof. Dr. A. Kröncke

Tag der mündlichen Prüfung: 20.02.1984

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung
2. Literaturübersicht
3. Kollektivauswahl und Methode
 - 3.1. Kollektivauswahl
 - 3.2. Probengewinnung und Aufbereitung
 - 3.2.1. Blut
 - 3.2.2. Speichel
 - 3.2.3. Atemluft
 - 3.3. Versuchsbeschreibung
 - 3.4. Analyseverfahren
 - 3.4.1. Quecksilberbestimmung im Blut
 - 3.4.2. Quecksilberbestimmung im Speichel
 - 3.4.3. Quecksilberbestimmung in der Atemluft
 - 3.5. Auswerteverfahren
 - 3.5.1. Berechnung der Meßergebnisse
 - 3.5.2. Werteübersicht
 - 3.5.3. Korrelationen
 - 3.5.4. Gruppenbildung
 - 3.5.5. Histogramme
 - 3.6. Meßfehler
4. Ergebnisse
 - 4.1. Ergebnisse der Blutuntersuchungen
 - 4.2. Ergebnisse der Atemluftuntersuchung
 - 4.2.1. vor dem Kauakt
 - 4.2.2. nach dem Kauakt
 - 4.3. Ergebnisse der Speicheluntersuchungen
 - 4.3.1. vor dem Kauakt
 - 4.3.2. nach dem Kauakt
 - 4.4. Korrelationen der Atemluft- und Speichelwerte

5. Diskussion
- 5.1. Diskussion der Fehlermöglichkeiten
- 5.2. Diskussion der Ergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Literaturübersicht
8. Anhang (Einzelergebnisse)

1. Einleitung und Problemstellung

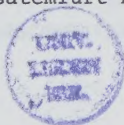
Silberamalgame sind die am häufigsten verwendeten Füllungsmaterialien in der konservierenden Therapie kariöser Defekte. Sie sind nicht nur leicht zu verarbeiten und zugleich kostengünstig, sondern sie führen auch zu guten Ergebnissen bei der Wiederherstellung der Kaufunktion.

Schätzungsweise 10 Millionen Amalgamfüllungen werden täglich gelegt; allein in der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich etwa 60 Millionen Amalgamfüllungen bei den gesetzlichen Krankenversicherungen abgerechnet. Dies entspricht einem Jahresverbrauch von etwa 20 Tonnen Quecksilber in der Bundesrepublik (TIEMANN, 1982).

Die im Handel angebotenen, zahnfarbenen Kunststoffe (Komposit-Kunststoffe nach der BOWEN-Formel) haben sich im Seitenzahnbereich als Füllungsmaterial nicht bewährt (ROULET et al., 1980). Dennoch wünschen immer mehr Patienten in der letzten Zeit diese "weißen Füllungen". Dahinter stehen nicht nur ästhetische Gründe; ein wichtiges Argument ist für viele Patienten, daß Verbraucherschutzverbände und Medien auf angebliche schädliche Nebenwirkungen dieser Amalgamfüllungen aufmerksam machen und damit viele Patienten verunsichern.

Seit vielen Jahren befassen sich deswegen unzählige Forschungsarbeiten mit der Frage der Nebenwirkungen des Amalgams bzw. des daraus freigesetzten Quecksilbers.

Es wurde mehrfach beschrieben (CHAN et al., 1972; GAY et al., 1979; SVARE et al., 1973; SVARE et al., 1981), daß vor und nach dem Kauen bei Probanden mit Amalgamfüllungen Quecksilber in der Ausatemluft nachweisbar ist. Diesen



Publikationen fehlt jedoch die vergleichende Untersuchung der Blut- oder Urinwerte, welche die toxikologisch und arbeitsmedizinisch bedeutsamen und international allgemein gebräuchlichen Bezugsgrößen darstellen.

Deshalb sollen in der vorliegenden Arbeit die Untersuchungen von SVARE et al. (1981) nachvollzogen, überprüft und ergänzt werden.

Es werden die Quecksilber-Konzentrationen der Atemluft von Probanden mit und ohne Amalgamfüllungen - vor und nach dem zehnminütigen Kaugummi-Kauen - bestimmt. Darüber hinaus wird der Quecksilber-Gehalt im Speichel und im Blut gemessen. Durch gleichzeitige Überprüfung der Atemluft-, Serum- und Speichelkonzentration soll der Bezug zu den anerkannten Parametern für die Quecksilber-"Belastung" hergestellt werden. Die somit gewonnenen Daten sollten es erlauben, die klinische Bedeutung derjenigen Quecksilbermengen einzuschätzen, die durch das Kauen vorübergehend freigesetzt werden.

Mit Hilfe von Korrelationsberechnungen wird außerdem überprüft, ob die gefundenen Einzelwerte von der Anzahl der Amalgamfüllungen und der Füllungsflächen abhängig sind.

2. Literaturübersicht

Das Element Quecksilber, ein Schwermetall, wurde seit Jahrhunderten als Arzneimittel geschätzt, aber auch als gefährliches Gift gefürchtet.

"Im Orient wurden Quecksilberpräparate schon seit alter Zeit zur Behandlung syphilitischer Geschwüre verwandt. Seit dem Jahre 1500 wurde dann die interne Behandlung mit Quecksilberpräparaten gebräuchlich; allerdings wandte man das Quecksilber in so hohen Dosen an, daß schwere Vergiftungserscheinungen auftraten....", schreibt BRAUN 1946.

Quecksilberverbindungen, die als Industrieabfälle sorglos ins Meer eingeleitet wurden, führten in den sechziger Jahren unseres Jahrhunderts in Japan zu Massenvergiftungen (SCHIELE, 1979).

Im Jahre 1969 wurde von COOK und YATES ein Todesfall einer zahnärztlichen Helferin beschrieben, als dessen Ursache eine chronische Intoxikation dieser beruflich kontaminierten Person gilt.

"Auf eine besondere Gefahr der chronischen Quecksilbervergiftung durch Zahnfüllungen hat STOCK aufmerksam gemacht. Die Mitteilungen von STOCK haben seinerzeit beachtliches Aufsehen erregt, namentlich der von ihm mitgeteilte Fall eines Marburger Professors, bei dem nach Entfernung von 24 Amalgamfüllungen ein Umschwung in seinem seit Jahren sich hinziehenden körperlichen und geistigen schlechten Befinden eingetreten ist. Im Berliner Verein für innere Medizin erhob sich im Anschluß an einen Vortrag von FLEISCHMANN (1928) eine lebhafte Diskussion über diese Frage", berichtet LESCHKE 1933.

Vergegenwärtigt sich man diese medizin-historischen Anmerkungen, so überrascht es nicht, daß sich unzählige Arbeitsgruppen mit der Frage der Gefährdung der Gesundheit durch Amalgamfüllungen befaßt haben. Die Forschungsschwerpunkte lassen sich folgendermaßen einteilen:

- allergologische Aspekte
- elektrochemisches Verhalten
- Quecksilberfreisetzung bei der Verarbeitung von Amalgam
- Quecksilberfreisetzung in der Gebrauchsphase von Amalgamfüllungen

Allergologische Aspekte

Nach der Schätzung von HERRMANN (1982) werden 40 - 50 dokumentierte Fälle von allergischen Reaktionen auf Amalgamfüllungen in der bisherigen Literatur beschrieben. Es handelt sich dabei überwiegend um Schilderungen von Einzelfällen, die fast alle eine ähnliche klinische Symptomatik aufweisen. Nach dem Legen oder Entfernen von Füllungen kam es bei diesen Patienten zu Hautsymptomen oder Schleimhautreaktionen, in seltenen Fällen zu Fieber (BASS, 1943; ENGELMAN, 1963; FERNSTRÖM et al., 1962; FEUERMAN, 1975; TRAUB et al., 1938). DJERASSI et al. (1969), die 240 Personen mit und ohne Amalgamfüllungen untersuchten, konnten keine Gesetzmäßigkeiten beim Auftreten allergischer Reaktionen feststellen. Bei sensibilisierten Patienten können geringste Mengen von metallischem Quecksilber genügen, um allergische Reaktionen hervorzurufen. Aber nur wenn der Epikutantest positiv ausfällt und die genannten klinischen Symptome auftreten, muß deshalb auf die bewährte Amalgamfüllung verzichtet werden (HERRMANN, 1982).

Elektrochemisches Verhalten

STRASSBURG et al. (1967) weisen auf eine mögliche Sensibilisierung des Organismus durch Quecksilberionen hin, die bei Korrosionsvorgängen durch elektrochemische Prozesse frei werden. MARXKORS (1970), der ebenfalls das elektrochemische Verhalten von Füllungen und die daraus eventuell entstehenden Auswirkungen auf den Menschen untersuchte, sah nur eine mögliche Quelle für Intoleranzerscheinungen. Er hält es wie STRASSBURG (1967) für möglich, daß die austretenden Ionen, die er als Spurenelemente (Zinn, Zink, Kupfer, Quecksilber) bezeichnet, sensibilisierend wirken oder Allergien auslösen können. Eine schädliche, chemisch-toxische Wirkung der Ionen ist nicht möglich. Ebenso hält er die Hypothese, daß auftretende Potentiale oder Ströme als Ursache für Sekundärerkrankungen (Kopfschmerzen, Migräne, Darmbeschwerden, Nervosität u. v.a.m.) in Frage kommen, für nicht haltbar (MARXKORS, 1970, 1982). LUKAS (1981) führte Messungen von Kurzschlußströmen durch, die in der Mundhöhle zwischen verschiedenen Metallen auftreten. Die Unterschiede der Stromstärken bei den Patienten mit Veränderungen der Schleimhaut und einem Kontrollkollektiv sind nicht signifikant.

Legen und Entfernen von Amalgamfüllungen

Während die durch langsame Korrosion aus den Füllungen freigesetzten Quecksilber-Mengen für den Patienten unbedenklich sind, kann es bei der Herstellung und Bearbeitung neuer und Entfernung alter Amalgamfüllungen zu meßbar höheren Konzentrationen kommen. Bei diesen Arbeitsschritten können nur die auftretenden Quecksilber-Dämpfe und das verwendete metallische Quecksilber eine gesundheitsgefährdende Rolle spielen. Letzteres führt nicht einmal in höheren

Dosen zur Intoxikation, wie MAYER (1980) zeigen konnte. Die von ihm gefundenen Quecksilber-Dampf-Werte in der Mundhöhle der Patienten übersteigen allerdings den MAK-Wert ($0,1 \text{ mg Hg/m}^3$ Luft) kurzzeitig, fallen aber innerhalb weniger Tage auf nicht mehr meßbare Werte ab. In den gleichen Problembereich kann man die Untersuchungen vieler Autoren über den Quecksilber-Dampf-Gehalt in den Behandlungsräumen einordnen. Unabhängig voneinander fanden sich Quecksilber-Raumluftkonzentrationen, die einen Durchschnittswert von $0,01 \text{ mg Hg/m}^3$ Luft nicht übersteigen (BÖCKER et al., 1965; CHAN et al., 1972; FRYKHOLM, 1970; GROSSMAN et al., 1949; KESSEL et al., 1980; MARXKORS, 1970). Auch die Untersuchungen der biologischen Parameter Blut und Urin ergaben keinen Hinweis auf Belastungen durch Quecksilber bei Zahnärzten, zahnärztlichem Personal und nicht-exponierten Personen (KESSEL et al., 1980; KRÖNCKE et al., 1980; SCHIELE, 1982; SCHNEIDER, 1976).

Amalgamfüllungen in der Gebrauchsphase

Nur wenige Autoren untersuchten bisher die Quecksilber-Mengen, die ständig durch Abrasion - bedingt durch das Kauen beim Aufnehmen von Speisen - freigesetzt werden können. Dabei kann es zu Anreicherungen von Quecksilber-Ionen im Speichel kommen oder zu einer Erhöhung der Quecksilber-Dampfkonzentration in der sich in der Mundhöhle befindlichen Atemluft. Die sich daraus ergebenden Gefahren sind:

1. Inhalation der Quecksilber-Dämpfe mit daraus resultierender alveolärer Resorption und
2. Intestinale Aufnahme des Quecksilbers aus dem Speichel.

Beide Vorgänge können zu einer Erhöhung der Quecksilber-Aufnahme führen. Derartige Überlegungen veranlaßten SVARE und Mitarbeiter (1981), die Ausatemluft von 48 Personen vor und nach dem Kauen auf Quecksilber zu untersuchen. Sie kamen zu folgenden Ergebnissen:

1. Die 40 Probanden mit Amalgamfüllungen hatten einen höheren Quecksilber-Gehalt in ihrer Ausatemluft als die 8 Probanden ohne Amalgamfüllungen.
2. Nach 10-minütigem Kaugummikauen fanden SVARE et al. eine 15,6-fache Erhöhung der Quecksilber-Konzentration in der Ausatemluft der Gruppe mit Amalgamfüllungen, während die Werte der Kontrollgruppe unverändert blieben.
3. Es zeigt sich ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Amalgamfüllungen und der Quecksilber-Konzentration in der Ausatemluft.

Die Speichellöslichkeit von Amalgamfüllungen wurde bisher nur in vitro gemessen. MAYER und DIEHL (1976) fanden, daß Quecksilber insbesondere aus frisch gelegten Amalgamfüllungen abgegeben wird, bereits aber nach 10 Tagen keine meßbaren Werte mehr festzustellen waren. SCHLESIGER (1978) kommt zu den gleichen Ergebnissen. Nur TILL et al. (1973) simulierten bei ihren Versuchen mit künstlichem Speichel Kau- und Trinkakt. Sie fanden, daß die dabei in Lösung gehenden Bestandteile von Amalgamfüllungen größer sind als bei ruhenden Zähnen.

3. Kollektivauswahl und Methode

3.1. Kollektivauswahl

Untersucht wurden 54 Probanden beiderlei Geschlechts im Alter von 15 bis 39 Jahren (Median: 24 Jahre) mit unterschiedlicher Anzahl von Amalgamfüllungen. Als Vergleichskollektiv dienten 15 Probanden im Alter von 20 bis 55 Jahren (Median: 28 Jahre) ohne Amalgamfüllungen. Bei keinem der Probanden bestand eine berufliche Quecksilberexposition bzw. Allgemeinerkrankung oder medikamentöse Behandlung. In den zahnärztlichen Befundunterlagen wurden neben anamnestischen Angaben insbesondere die Anzahl und die Ausdehnung der Füllungen registriert. Die Amalgamfüllungen befanden sich unterschiedlich lange im Gebrauch (1 Jahr und mehr). Hinsichtlich ihrer Herkunft, ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer Qualität können keine Angaben gemacht werden. Die mittlere Anzahl der Amalgamfüllungen betrug 7 und reichte von einer bis zu 16 Füllungen. Unterteilt man nach Anzahl der Füllungsflächen, so ergab sich ein Bereich von 2 bis 40 Flächen (Median: 12 Flächen).

3.2. Probengewinnung

3.2.1. Blut

Vor Beginn des Versuchs wurden von jedem Probanden 5 ml Venenblut mit EDTA Monovetten^R entnommen. Die Lagerung der Proben erfolgte tiefgefroren bis zur Analyse.

3.2.2. Speichel

Von jedem Probanden wurde vor dem Kauen ca. 2 ml Speichel ohne sekundäre Reizung (durch Paraffin) in Plastikröhrchen gesammelt und anschließend auf den Quecksilber-Gehalt untersucht. Die Gewinnung und Auswertung der Speichelproben nach zehnminütigem Kaugummikauen erfolgte in analoger Weise.

3.2.3. Luft

Die Gewinnung der Atemluftproben erfolgte entsprechend den Angaben von SVARE und Mitarbeitern. Mit normaler Atemfrequenz mußte der Proband einen Plastikbeutel mit Atemluft füllen. Zur Verbesserung der analytischen Nachweisgrenze wurde anstelle eines Drei-Liter-Beutels ein Polyäthylenbeutel mit einem Fassungsvermögen von ca. 15 l verwendet. Die gefüllten Beutel wurden verschlossen und sofort analysiert. Die Luftprobengewinnung wurde nach zehnminütigem Kauen wiederholt.

3.3. Versuchsbeschreibung

Nach der Venenblutabnahme wurde der Proband aufgefordert, ca. 2 ml Speichel in einem Plastikröhrchen zu sammeln. Danach füllte er einen 15 l fassenden Polyäthylenbeutel in normaler Atemfrequenz mit Ausatemluft. Anschließend mußte die Versuchsperson den gewohnten Kauakt mit Kaugummi imitieren; in der Zwischenzeit gelangten die Speichel- und Luftproben zur Auswertung.

Unmittelbar nach Beendigung des Kauens wurden in analoger Weise die Speichel- und Luftproben gewonnen und ausgewertet.

3.4. Analyseverfahren

3.4.1. Quecksilber-Bestimmung im Blut

Die quantitative Bestimmung des Gesamt-Quecksilbers in der Vollblutprobe erfolgte nach der von SCHIERLING und SCHALLER (1981) beschriebenen Kaltdampftechnik. Als Reduktionsmittel wurde Natriumborhydrid verwendet. Die Untersuchungen wurden entsprechend der TRgA 410 des Bundesarbeitsministeriums unter den Bedingungen der statistischen Qualitätssicherung durchgeführt.

3.4.2. Quecksilber-Bestimmung im Speichel

Für die quantitative Bestimmung des Quecksilbers in den Speichelproben wurde jeweils 1 ml Speichel entsprechend der Blutanalyse aufgearbeitet.

3.4.3. Quecksilber-Bestimmung der Atemluft

Die Quecksilber-Bestimmung in der Atemluft erfolgte in Analogie zu der Methode, wie sie von SCHIERLING und SCHALLER (1982) für die Raumluftanalyse beschrieben worden ist. Das sich in der Atemluft befindliche metallische Quecksilber wird mit Hilfe einer Saugpumpe (personal air sampler S 2500 der Fa. Dupont) direkt auf einem Goldnetz, das sich in einem Quarzröhrchen befindet, gesammelt. Die Ansauggeschwindigkeit betrug 2 l pro Minute. Das Quarzröhrchen mit dem Goldnetz wird in das MHS 20 System (Bodenseewerk Perkin-Elmer) eingebracht und das Quecksilber nach thermischer Desorption atomabsorptionsspektrometrisch gemessen. Die Nachweisgrenze

dieser Methode beträgt bei einer angesaugten Luftmenge von 10 l $0,2 \mu\text{g Hg/m}^3$. Experimentelle Untersuchungen mit Luftproben bekannten Quecksilber-Gehaltes hatten gezeigt, daß nur geringfügige Verluste durch Absorption an die Beuteloberfläche und durch Verflüchtigung sowohl bei der Probennahme als auch bei der Analyse auftreten.

3.5. Auswerteverfahren

3.5.1. Berechnung der Meßergebnisse

Mit Hilfe der internen Standardisierung wurden die Quecksilber-Konzentrationen jedes Probanden in der Luft und im Speichel vor und nach dem Kauen und im Blut berechnet.

3.5.2. Werteübersicht

Die Einzelwerte wurden aufgelistet und im regionalen Rechenzentrum Erlangen weiter verarbeitet. In Tabellen wurden zusammengefaßt: Maximaler - minimaler Wert

Medianwert

zentraler 66%-Bereich

3.5.3. Korrelationen

Die berechneten linearen Korrelationskoeffizienten und Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN ermöglichen eine Beurteilung des statistischen Zusammenhangs zwischen den gefundenen Quecksilber-Werten und der Anzahl der Amalgamfüllungen bzw. Amalgamfüllungsflächen.

3.5.4. Gruppenbildung

Beim Amalgamkollektiv erfolgte eine willkürliche Gruppen-einteilung, um eine Beurteilung des Quecksilber-Anstiegs - bezogen auf Füllungsanzahl und Füllungsflächen - zu ermöglichen. In Anlehnung an die Studie von SVARE et al. (1981) wurde eine tabellarische Übersicht erstellt.

3.5.5. Histogramme

Zur besseren Übersicht wurden die berechneten Quecksilber-Werte in Histogrammen graphisch dargestellt.

3.6. Meßfehler

Zur Überprüfung der analytischen Zuverlässigkeitskriterien der Methode wurden Mehrfachmessungen durchgeführt. Die entsprechenden Daten sind aus Tabelle 1 zu ersehen.

Tabelle 1: Zusammenstellung der ermittelten Daten für die Präzision in der Serie und die Nachweisgrenzen.

VK = Variationskoeffizient

$\bar{x}$ = Mittelwert der Ergebnisse

Meßgröße	Präzision in der Serie		Nachweisgrenze
	$\bar{x}$	VK %	
Hg-Luft	58 ng/m ³	30 %	20 ng/m ³
Hg-Blut	3,2 µg/l	6 %	0,1 µg/l
Hg-Speichel	3,2 µg/l	6 %	0,1 µg/l

4. Ergebnisse

4.1. Ergebnisse aus den Blutuntersuchungen

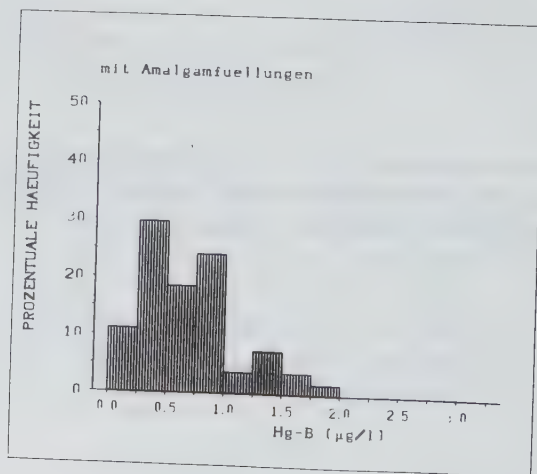
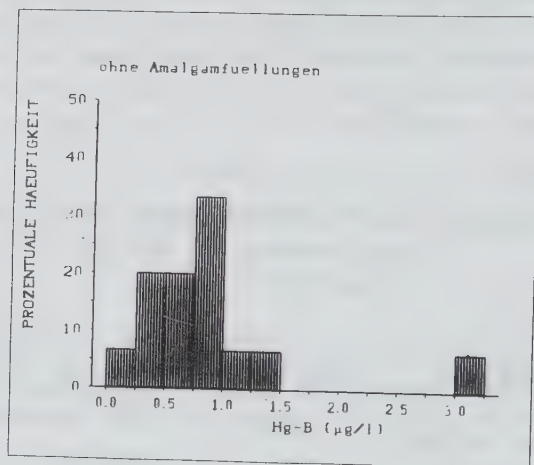
Der Quecksilber-Gehalt im Blut der Probanden mit Amalgamfüllungen entspricht mit einem Median von 0,6 µg/l (kleinster/größter Wert: 0,12 / 1,8 µg/l) dem Wert der Probanden ohne Amalgamfüllungen. Hier ist der Median geringfügig höher (0,8 µg/l); der Bereich erstreckt sich von 0,16 µg/l bis 3,30 µg/l (Tabelle 2).

Tabelle 2: Quecksilber-Konzentrationen im Blut (µg/l)
von Probanden mit (n = 54) und ohne (n = 15)
Amalgamfüllungen

Probanden	Medianwert	kleinster/ größter Wert	zentraler 66%-Bereich
mit Amalgam- füllungen	0,6	0,12/1,8	0,32 - 0,99
ohne Amalgam- füllungen	0,6	0,16/3,30	0,40 - 1,03

Die Histogramme (Abb. 1, 2) verdeutlichen, daß sich die Quecksilber-Konzentrationen im Blut beider untersuchter Kollektive nahezu nicht unterscheiden.

Abb. 1 und 2: Häufigkeitsverteilung der Quecksilber-Konzentrationen im Blut (Hg-B) von Probanden ohne Amalgamfüllungen (n = 15) und mit Amalgamfüllungen (n = 54)



Als mögliche Variablen für den Quecksilber-Gehalt im Blut kommen in Frage:

- die Anzahl der Füllungen
- die Anzahl der Füllungsflächen
- Quecksilber-Gehalt in der Ausatemluft vor dem Kauen
- Quecksilber-Gehalt im Speichel vor dem Kauen

Tabelle 3: Zusammenstellung der linearen Korrelationskoeffizienten und Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN

	lineare Korrelations- koeffizienten	Rangkorre- lations- koeffizienten nach Spearman
Füllungen/Hg-B	0,117	0,113
Füllungsflächen/Hg-B	0,147	0,160
Hg-B/Hg-L-v	0,379	0,190
Hg-B/Hg-Sp-v	0,212	0,029

Aus den nachfolgenden Korrelationsdiagrammen (Abb. 3, 4, 5, 6) läßt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Quecksilber-Gehalt im Blut (Hg-B) und den möglichen Variablen ersehen.

Abb. 3 und 4: Korrelation zwischen der Anzahl der Füllungsflächen bzw. Amalgamfüllungen und der Quecksilber-Konzentration im Blut (Hg-B)

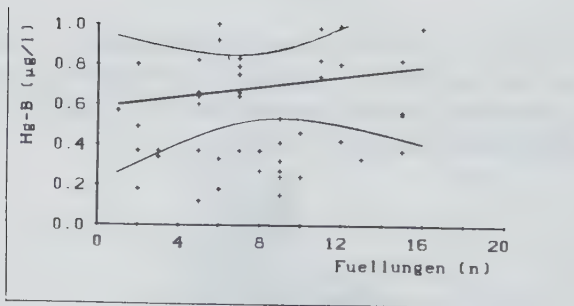
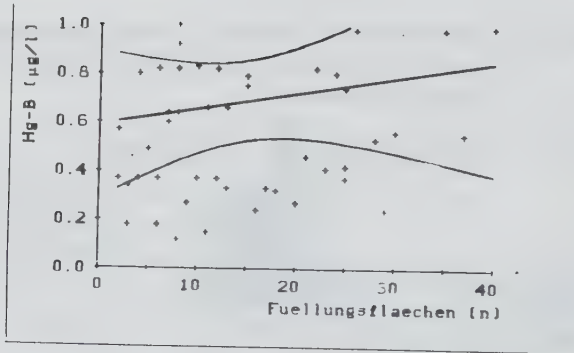
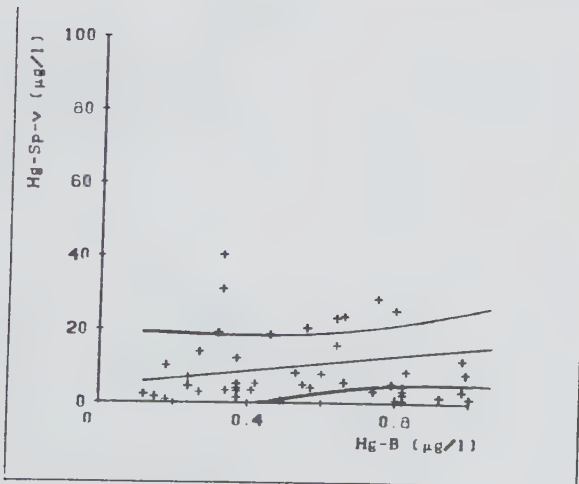
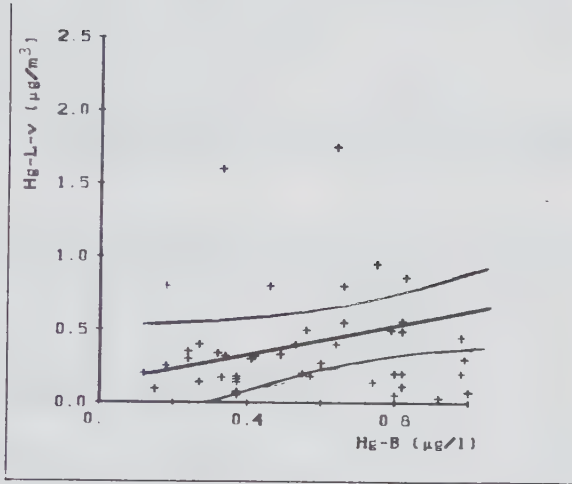


Abb. 5 und 6: Korrelation zwischen der Quecksilber-Konzentration im Blut (Hg-B) und der Quecksilber-Konzentration in der Ausatemluft (Hg-L) bzw. im Speichel (Hg-Sp) vor dem Kaugummikauen



4.2. Ergebnisse der Atemluftuntersuchung

4.2.1. Vor dem Kauakt

Der Quecksilber-Gehalt in der Ausatemluft der Probanden mit Amalgamfüllungen ist mit einem Median von $0,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kleinster/größter Wert: $0,03/3,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) höher als der Median bei den Probanden ohne Amalgamfüllungen $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kleinster/größter Wert: $0,01/0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 4). Insgesamt gesehen liegen diese Werte bei weitem unter dem MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration), der in der Bundesrepublik Deutschland $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt.

Tabelle 4: Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft
vor dem 10-minütigen Kaugummikauen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Probanden	Medianwert	kleinster/ größter Wert	zentraler 66%-Bereich
mit Amalgam- füllungen	0,29	0,03/3,10	0,11 - 0,79
ohne Amalgam- füllungen	0,05	0,01/0,15	0,02 - 0,07

4.2.2. Nach dem Kauakt

Während der Medianwert der Probanden ohne Amalgamfüllungen konstant bleibt ($0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kleinster/größter Wert: $0,02/0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ist er bei den Probanden mit Amalgamfüllungen meßbar erhöht. Er beträgt $1,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kleinster/größter Wert: $0,15/12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabelle 5).

Tabelle 5: Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft nach dem 10-minütigem Kaugummikauen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Probanden	Medianwert	kleinster/ größter Wert	zentraler 66%-Bereich
mit Amalgam- füllungen	1,35	0,15/12,7	0,47 - 3,68
ohne Amalgam- füllungen	0,05	0,02/0,08	0,02 - 0,06

Aus den Histogrammen (Abb. 7, 8, 9, 10) kann man die Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft sowohl vor als auch nach dem Kauen von beiden Kollektiven ansehen.

Abb. 7 und 8: Häufigkeitsverteilung der Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft von Probanden ohne Amalgamfüllungen vor (Hg-L-v) und nach (Hg-L-n) dem Kaugummikauen

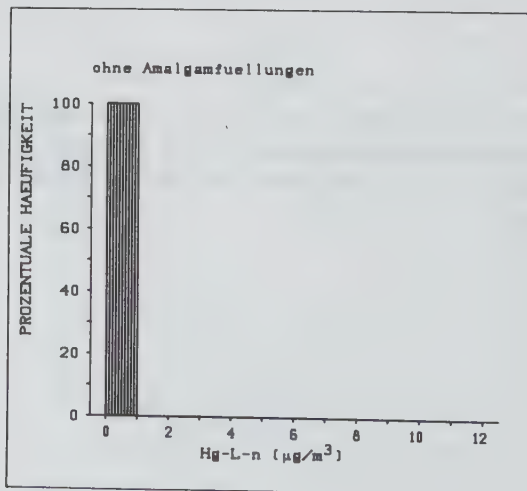
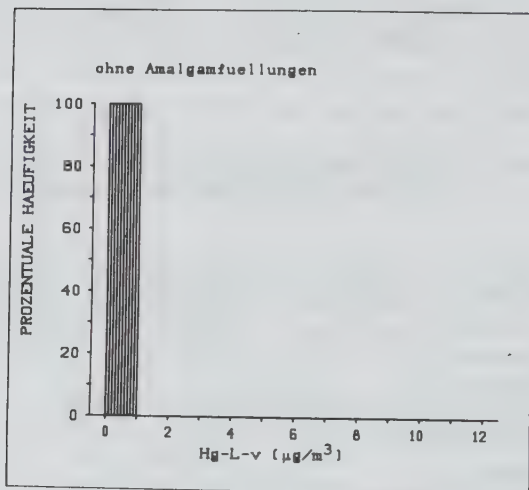
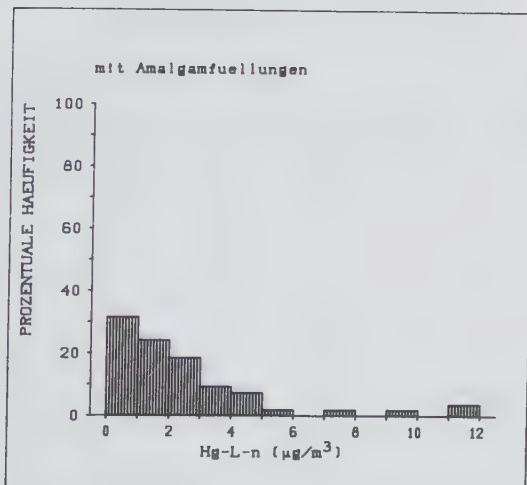
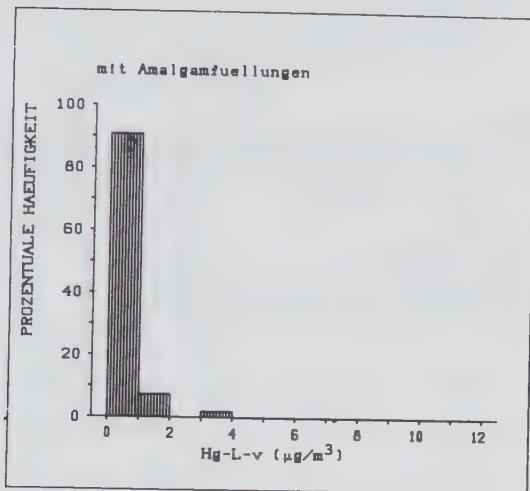


Abb. 9 und 10: Häufigkeitsverteilung der Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft von Probanden mit Amalgamfüllungen vor (Hg-L-v) und nach (Hg-L-n) dem Kaugummikauen



In den Tabellen 6 und 7 wird nach willkürlicher Gruppenbildung ein Verteilungsmuster, bezogen auf die steigende Quecksilber-Konzentration in der Ausatemluft, aufgezeigt.

Tabelle 6: Verteilung der Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft vor und nach dem Kauen, bezogen auf Anzahl der Füllungen

Hg-Gehalt in Ausatemluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anzahl der Füllungen							
	0		1 - 5		6 - 10		11 - 16	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem
	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen
0 - 1	15	15	15	10	22	6	12	4
1,1 - 2			1	1	1	7	2	2
2,1 - 4				5	1	6	6	1
4,1 - 6						3	1	
6,1 - 10						1		
> 10						1	1	

Tabelle 7: Verteilung der Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft vor und nach dem Kauen, bezogen auf Anzahl der Füllungsflächen

Hg-Gehalt in Ausatemluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anzahl der Füllungsflächen									
	0		1 - 5		6 - 20		21 - 40		1 - 40	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem
	Kauen	Kauen	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem	dem
	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen	Kauen
0 - 1	15	15	8	7	27	10	14	2	49	19
1,1 - 2				1	3	6	1	4	4	11
2,1 - 4					1	10		6	1	16
4,1 - 6						2				2
6,1 - 10						2		2		4
> 10						1		1		2

Die Quecksilber-Konzentration steigt in Abhängigkeit von der Anzahl der Füllungen bzw. Füllungsflächen. Auch die berechneten Korrelationskoeffizienten lassen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Quecksilber-Gehalt der Ausatemluft nach dem Kauakt und der Anzahl der Füllungen bzw. der Füllungsflächen erkennen (Tabelle 8, Abb. 11, 12, 13, 14).

Tabelle 8: Zusammenstellung der linearen Korrelationskoeffizienten und Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN

	lineare Korrelations- koeffizienten	Rangkorrelations- koeffizienten nach Spearman
Füllungsflächen/Hg-L-v	0,092	0,226
Füllungsflächen/Hg-L-n	0,277	0,446
Füllungen/Hg-L-v	0,168	0,188
Füllungen/Hg-L-n	0,296	0,399

Abb. 11 und 12: Korrelation zwischen der Anzahl der Füllungsflächen und der Quecksilberkonzentration in der Ausatemluft vor (Hg-L-v) bzw. nach (Hg-L-n) dem Kaugummikauen

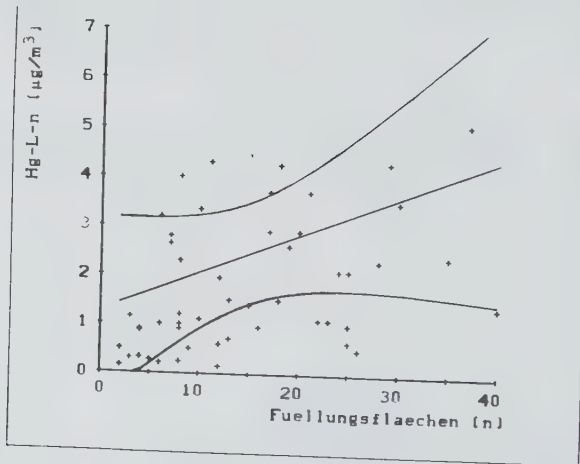
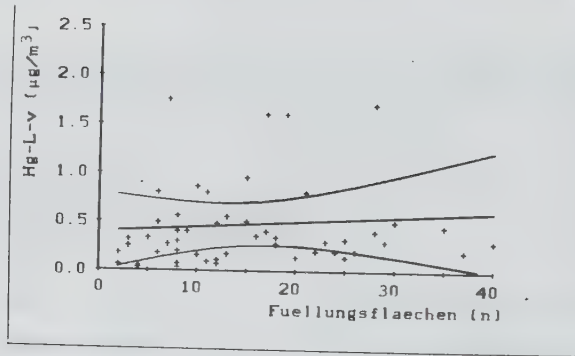
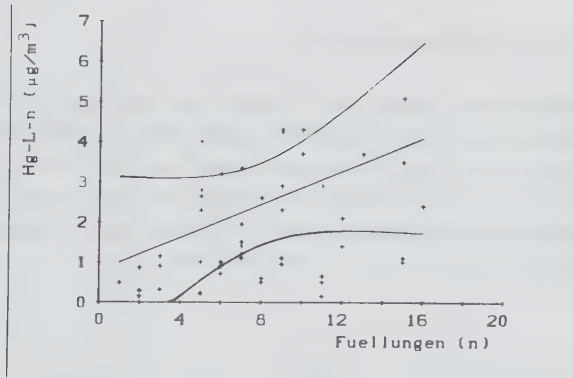
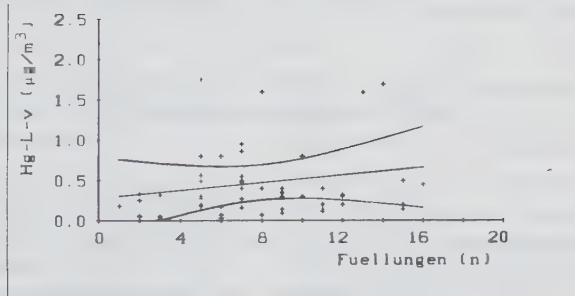


Abb. 13 und 14: Korrelation zwischen der Anzahl der Amalgamfüllungen und der Quecksilberkonzentration in der Ausatemluft vor (Hg-L-v) bzw. nach (Hg-L-n) dem Kaugummikauen



4.3. Ergebnisse der Speicheluntersuchungen

4.3.1. Vor dem Kauakt

Im Speichel findet sich vor dem Kauakt mit einem Median von 4,90 µg/l (kleinster/größter Wert: 0,60/143,0 µg/l) bei den Probanden mit Amalgamfüllungen ein höherer Wert als beim Kontroll-Kollektiv. Dort beträgt der Median 0,3 µg/l (kleinster/größter Wert: 0,10/2,70 µg/l) (Tabelle 9).

Tabelle 9: Quecksilber-Konzentrationen im Speichel vor dem 10-minütigen Kaugummikauen (µg/l).

Probanden	Medianwert	kleinster/ größter Wert	zentraler 66%-Bereich
mit Amalgam- füllungen	4,90	0,60/143,0	1,32 - 18,5
ohne Amalgam- füllungen	0,3	0,10/2,70	0,1 - 0,7

4.3.2. Nach dem Kauakt

Wie bei der Luftmessung bleibt auch im Speichel der Probanden ohne Amalgamfüllungen der Wert nahezu konstant (Median 0,4 µg/l, kleinster/größter Wert: 0,1/1,5 µg/l). Allerdings steigt der Median bei den Probanden mit Amalgamfüllungen auf den Wert von 12,95 µg/l an (kleinster/größter Wert: 0,3/193,8 µg/l) (Tabelle 10).

Tabelle 10: Quecksilber-Konzentrationen im Speichel nach
dem 10-minütigen Kaugummikauen ($\mu\text{g/l}$)

Probanden	Medianwert	kleinster/ größter Wert	zentraler 66%-Bereich
mit Amalgam- füllungen	12,95	0,30/193,8	2,25 - 37,27
ohne Amalgam- füllungen	0,4	0,1/1,5	0,1 - 0,7

Wie aus den tabellarischen Übersichten (Tabelle 11,12), den Histogrammen (Abb. 15, 16, 17, 18) und den Korrelationskoeffizienten (Tabelle 13) ersichtlich ist, läßt sich ein statistischer Zusammenhang zwischen den gemessenen Quecksilber-Werten im Speichel vor und nach dem Kauen und der Zahl der Amalgamfüllungen bzw. Füllungsflächen nachweisen.

Tabelle 11: Verteilung der Quecksilber-Konzentrationen im Speichel vor und nach dem Kauen, bezogen auf Anzahl der Füllungen

Hg-Gehalt im Speichel (µg/l)	Anzahl der Füllungen									
	0 vor nach dem Kauen		1 - 5 vor nach dem Kauen		6 - 10 vor nach dem Kauen		11 - 16 vor nach dem Kauen		1 - 16 vor nach dem Kauen	
0 - 1	13	14	4	3	1		1	1	5	5
1,1 - 2	1	1	1	3	3		1		5	3
2,1 - 4	1		6	1	3	1	2	2	11	4
4,1 - 8			4	5	4	3	4	1	12	9
8,1 - 12			1		4	2	1	1	5	4
> 12			1	2	10	17	5	9	16	29

Tabelle 12: Verteilung der Quecksilber-Konzentrationen im Speichel vor und nach dem Kauen, bezogen auf Anzahl der Füllungsflächen

Hg-Gehalt im Speichel (µg/l)	Anzahl der Füllungsflächen									
	0 vor nach dem Kauen		1 - 5 vor nach dem Kauen		6 - 20 vor nach dem Kauen		21 - 40 vor nach dem Kauen		1 - 40 vor nach dem Kauen	
0 - 1	13	14	4	3	1	2			5	5
1,1 - 2	1	1	1	1	4	2			5	3
2,1 - 4	1		2	1	6	2	3	1	11	4
4,1 - 8			1	3	6	6	5	1	12	10
8,1 - 12					3	2	2	1	5	3
>12					11	17	5	12	16	29

Abb. 15 und 16: Häufigkeitsverteilung der Quecksilber-Konzentrationen im Speichel (Hg-Sp) von Probanden ohne Amalgamfüllungen vor und nach dem Kaugummikauen

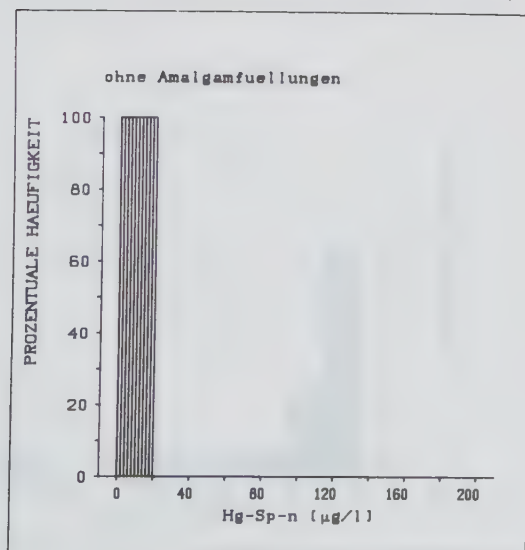
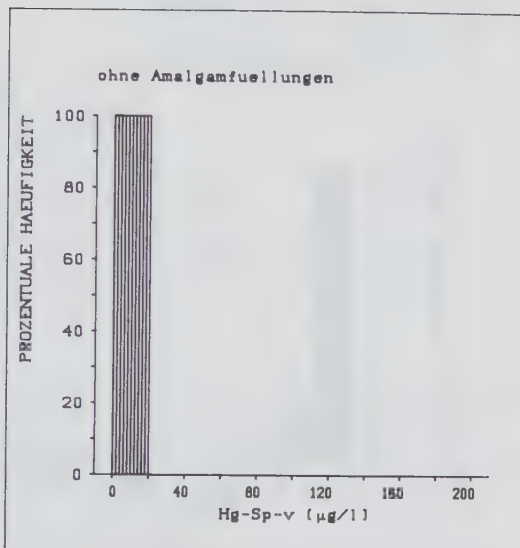


Abb. 17 und 18: Häufigkeitsverteilung der Quecksilber-Konzentrationen im Speichel (Hg-Sp) von Probanden mit Amalgamfüllungen vor und nach dem Kaugummikauen

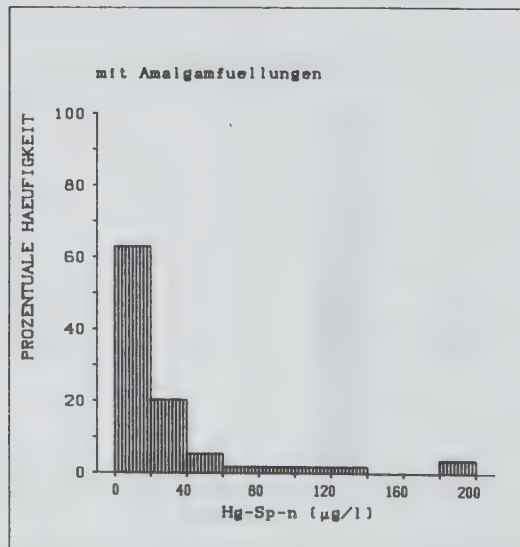
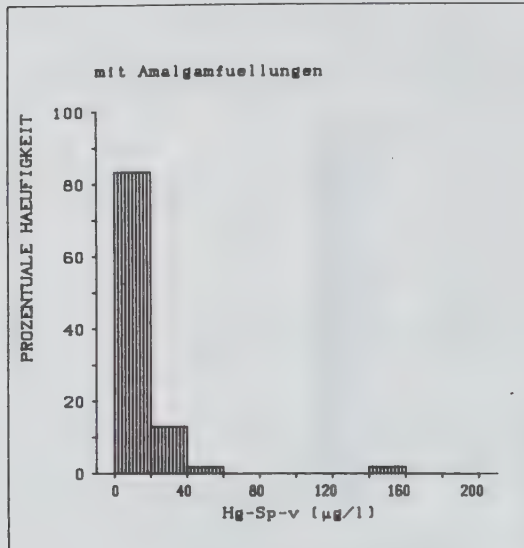


Tabelle 13: Zusammenstellung der linearen Korrelationskoeffizienten und Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN

	lineare Korrelations- koeffizienten	Rangkorrelations- koeffizienten nach Spearman
Füllungsflächen/Hg-Sp-v	0,264	0,472
Füllungsflächen/Hg-Sp-n	0,368	0,623
Füllungen/Hg-Sp-v	0,301	0,393
Füllungen/Hg-Sp-n	0,325	0,523

Die Korrelationsdiagramme (Abb. 19, 20, 21, 22) verdeutlichen einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl der Füllungsflächen bzw. der Füllungen und dem Quecksilber-Gehalt im Speichel nach dem Kauen (Hg-Sp-n).

Abb. 19 und 20: Korrelation zwischen der Anzahl der Füllungsflächen und den Quecksilber-Konzentrationen im Speichel vor (Hg-Sp-v) bzw. nach (Hg-Sp-n) dem Kaugummikauen

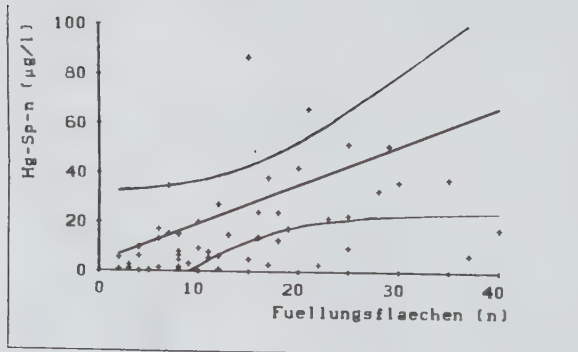
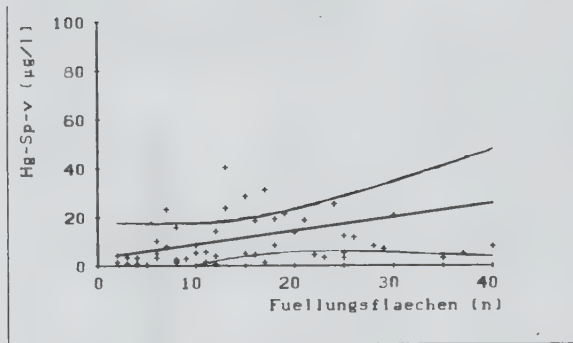
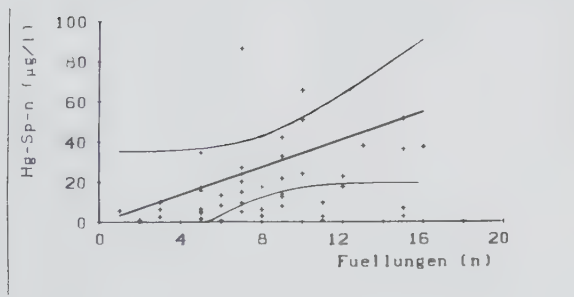
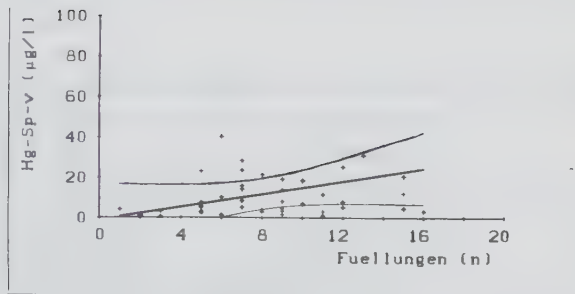


Abb. 21 und 22: Korrelation zwischen der Anzahl der Amalgamfüllungen und den Quecksilber-Konzentrationen im Speichel vor (Hg-Sp-v) bzw. nach (Hg-Sp-n) dem Kaugummikauen



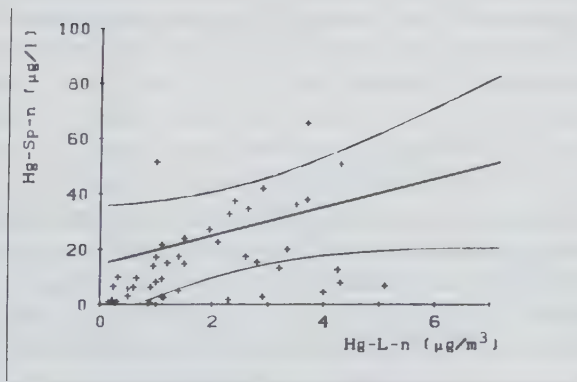
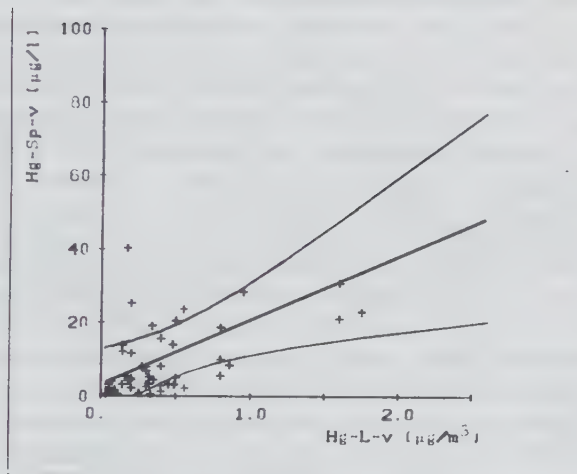
4.4. Korrelationen der Atemluft- und Speichelwerte

Zwischen den Konzentrations-Werten der Ausatemluft vor dem Kauakt und den entsprechenden Werten im Speichel besteht bei den Probanden mit Amalgamfüllungen ein signifikanter Zusammenhang, was sich auch für die jeweiligen Wertepaare nach dem Kauakt nachweisen läßt (Tabelle 14, Abb. 23, 24).

Tabelle 14: Zusammenstellung der linearen Korrelationskoeffizienten und Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN

	lineare Korrelations- koeffizienten	Rangkorrelations- koeffizienten nach Spearman
Hg-L-v/Hg-Sp-v	0,478	0,544
Hg-L-n/Hg-Sp-n	0,340	0,468

Abb. 23 und 24: Korrelation zwischen den Quecksilber-Konzentrationen in der Ausatemluft vor (Hg-L-v) bzw. nach (Hg-L-n) dem Kaugummikauen und den Quecksilber-Konzentrationen im Speichel vor (Hg-Sp-v) bzw. nach (Hg-Sp-n) dem Kaugummikauen



5. Diskussion

5.1. Diskussion der Fehlermöglichkeiten

Bei der Bestimmung der Quecksilber-Konzentrationen in der Atemluft kann es zu verschiedenen systematischen Fehlern kommen: Die Genauigkeit bzw. die Reproduzierbarkeit ist möglicherweise von der Atemtechnik des jeweiligen Probanden abhängig. Durch Absorption von Quecksilber kann es u.U. zu einer Verfälschung kommen, wie sie auch durch Verluste beim Verschließen des Plastikbeutels denkbar wäre. Alle diese Fehlermöglichkeiten müssen bei der Bestimmung des Meßfehlers bzw. der Nachweisgrenze berücksichtigt werden.

Wesentlich wichtiger erscheint uns, daß wir das Alter, die Art (gamma-2-haltige bzw. gamma-2-freie Amalgamfüllungen) und die Qualität der Amalgamfüllungen nicht quantitativ erfassen konnten. Es läßt sich ebenfalls nicht überprüfen, ob ein "habituelles Kauen" vor der eigentlichen Untersuchung stattgefunden hat; dies würde sicherlich die Einzelwerte erhöhen. Schließlich - und dies kann an den Werten der Gruppe ohne Amalgamfüllungen bewiesen werden - gehen ernährungsbedingte Konzentrationsänderung als Störfaktor in die Untersuchung ein. Wie seit langem bekannt ist, nehmen wir mit der täglichen Nahrung z.T. erhebliche Mengen an Quecksilber auf (KREISLER, 1978; SCHELENZ et al., 1973).

5.2. Diskussion der Ergebnisse

Quecksilber, seine anorganischen und seine organischen Verbindungen kommen ubiquitär vor. Seine Toxizität ist abhängig von der chemischen Bindung und der Art der Aufnahme. Während metallisches Quecksilber nahezu ungefährlich ist, wirken bereits 0,5 mg/kg Körpergewicht einer metall-organischen Quecksilber-Verbindung tödlich

(RIETHE, 1982). In den menschlichen Organismus gelangt dieses Element hauptsächlich mit der Nahrung. Die Aufnahme aus Atemluft und Trinkwasser ist dagegen in der Regel geringer (ca. 2 µg pro Tag). Die nahrungsbedingte Quecksilber-Aufnahme beträgt für die Normalbevölkerung nach SCHIELE (1982) 22 µg pro Tag mit einem Bereich von 13 - 53 µg pro Tag. Erst bei ständigem Überschreiten der sog. kritischen Dosis (400 µg pro Tag) muß mit Vergiftungserscheinungen gerechnet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei biologische Untersuchungsmedien (Blut, Speichel, Atemluft) überprüft. Aus toxikologischer Sicht kommt insbesondere den Blutanalysen eine hohe gesundheitliche Relevanz zu, da sie in erster Linie zur Abschätzung der aktuellen Exposition dienen. Aussagen über eine länger zurückliegende Aufnahme und den Grad der Speicherung in den sog. kritischen Organen sind nicht möglich.

Von vielen Autoren wurden Untersuchungen über die Frage erstellt, ob aus dem in der Zahnheilkunde verwendeten Amalgam Quecksilber in nennenswerter Weise freigesetzt wird und in den Organismus gelangt. KRÖNCKE u. Mitarbeiter (1980) fanden, daß alle im Blut feststellbaren Quecksilber-Mengen weit unterhalb des tolerierten Wertes liegen, den SCHALLER u. Mitarbeiter (1979) mit 5 µg/l Blut angeben. KRÖNCKE et al. (1980) konnten keinen Unterschied bei den Blutwerten von Zahnärzten und Probanden mit und ohne Amalgamfüllungen feststellen. Auch GASSER (1976) fand keine signifikante Abhängigkeit der Blutquecksilberwerte von der Anzahl der Amalgamfüllungen und der beruflichen Exposition. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen diese Untersuchungen. Die Quecksilber-Werte im Blut der Probanden mit und ohne Amalgamfüllungen zeigten keine signifikanten Unterschiede und liegen alle unter dem biologischen Arbeitsstoff-Toleranz-Wert (BAT-Wert). Dieser beträgt für Queck-

silber (organisch und metallisch) 50 µg Hg/l Blut, für organische Quecksilber-Verbindungen 100 µg Hg/l Blut (HENSCHLER, 1983). Als jeweils höchster Wert wurden in unserer Untersuchung 1,8 µg Hg/l Blut bei der Gruppe der Probanden mit Amalgamfüllungen und 3,3 µg Hg/l Blut bei der Gruppe ohne Amalgamfüllungen gemessen. Diese Schwankungen dürften auf die zufällige Nahrungsaufnahme vor der Untersuchung zurückzuführen sein.

SVARE und Mitarbeiter (1981) untersuchten den Quecksilber-Gehalt in der Ausatemluft bei Probanden mit und ohne Amalgamfüllungen sowohl vor als auch nach dem Kauen ("Gebrauchsphase"). Sie halten es für möglich, daß Amalgamfüllungen als Quelle für Quecksilber in Frage kommen und die freigesetzte Quecksilber-Menge durch das Kauen beeinflusst wird. Unsere Meßergebnisse bestätigen teilweise die Beobachtungen dieser Forschungsgruppe. Der Quecksilber-Gehalt in der Ausatemluft ist bei den Probanden mit Amalgamfüllungen bereits vor dem Kauen höher als beim Vergleichskollektiv. Dieser Effekt verstärkt sich durch das zehnminütige Kaugummikauen. Während die Werte für die Gruppe ohne Amalgamfüllungen nahezu konstant bleiben, betragen die Konzentrationen bei den Probanden mit Amalgamfüllungen etwa das Vierfache des Ausgangswertes. Alle gemessenen Werte sind niedriger als die Angaben von SVARE et al. (1981). Diese Diskrepanz kann durch Unterschiede der Methodik erklärt werden.

Da bessere Vergleichsmöglichkeiten bisher fehlen, werden die Konzentrationen zum MAK-Wert in Beziehung gesetzt. Er entspricht - vereinfacht ausgedrückt - der höchstzulässigen Konzentration eines Arbeitsstoffes in der Luft am Arbeitsplatz, der auch bei wiederholter und langfristiger Exposition im allgemeinen die Gesundheit des Beschäftigten nicht beeinträchtigt.

Der Wert für die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration beträgt in der Bundesrepublik Deutschland 100 µg Hg/m³ Luft (RIETHE, 1982). Bei dem von uns gefundenen Medianwert von

0,29 $\mu\text{g Hg/m}^3$ Luft für die Gruppe der Probanden mit Amalgamfüllungen vor dem Kauen und einem Medianwert dieser Probanden von 1,35 $\mu\text{g Hg/m}^3$ Luft nach dem Kauen liegen diese Zahlen deutlich unter dem MAK-Wert.

MAYER (1980) führte Quecksilberdampf-Messungen in der Mundhöhle beim Stopfen und Ausbohren von Amalgamfüllungen durch. Er fand Quecksilber-Konzentrationen, die den MAK-Wert deutlich überschritten, wobei die Menge des abgegebenen Quecksilbers direkt mit der Füllungsgröße korrelierte. Diese Spitzenwerte treten jedoch nur kurzzeitig auf und sind schnell rückläufig. Unsere Untersuchungen und die Ergebnisse von SVARE et al. (1981) lassen eine gewisse Abhängigkeit der Quecksilber-Konzentration in der Ausatemluft nach dem Kauen von der Anzahl der Füllungen erkennen.

Bei den von uns durchgeführten Quecksilber-Messungen im Speichel kann ebenfalls eine Abhängigkeit der Quecksilber-Konzentration von der Füllungszahl, insbesondere nach dem Kauen, festgestellt werden. Zur vereinfachten Darstellung wurde die Quecksilber-Konzentration im Speichel auf die international übliche Einheit, also 1000 ml Speichel bezogen. Es zeigt sich bei der Gruppe der Probanden mit Amalgamfüllungen vor Beginn der Untersuchung ein höherer Wert im Vergleich zur Gruppe ohne Amalgamfüllungen. Nach dem Kauen sind die Werte für den Quecksilber-Gehalt bei den Probanden mit Amalgamfüllungen um das zwei- bis dreifache des Ausgangswertes erhöht. Während des Kauens wird also vorübergehend Quecksilber freigesetzt, das sowohl in den Speichel als auch in die Ausatemluft abgegeben wird. Diese Abgabe wird durch Abrasion beim antagonistischen Zahnkontakt begünstigt. RATEITSCHAK (1978) hat eine funktionelle Beanspruchung über 24 Stunden von insgesamt nur

ca. 18 Minuten gemessen. Eine okklusale Berührung der Antagonisten tritt demnach nur kurzzeitig und beim Kauakt auf. Parafunktionen wie Knirschen mit den Zähnen können jedoch diesen Wert erheblich beeinflussen. So läßt sich der extrem hohe Wert eines Probanden erklären.

Bei der Abgabe von Quecksilber aus Amalgamfüllungen sind außerdem die Art des Füllungsmaterials, das Alter der Füllungen und der momentane pH-Wert des Speichels von Bedeutung. Nach KROPP (1977) ist eine geringere Quecksilber-Abgabe aus Non-gamma-2 Amalgamen gegenüber alten Amalgamen denkbar. Quecksilber wird hauptsächlich aus frisch gelegten Amalgamfüllungen frei. Unmittelbar nach dem Legen ist die Menge des abgegebenen Quecksilbers relativ hoch, erreicht aber bereits nach zehn Tagen einen nicht mehr meßbaren Konzentrationsbereich (MAYER, 1980). SCHNEIDER (1976) äußert die Vermutung, daß die Quecksilber-Löslichkeit aus Silberamalgamen beim Kauen von sauren Getränken oder Speisen, d.h. niedriger pH-Wert, verstärkt wird.

Bei den von uns gemessenen "Mengen" handelt es sich um "Spitzenbelastungen", die in einigen ml Speichel - unmittelbar nach dem zehnminütigem Kauen - auftreten und deren Betrag dann auf den Ausgangswert zurückgeht. Daher dürfen die von uns angegebenen Konzentrationswerte nicht überbewertet werden, da die in einem ml gefundenen Mengen auf einen Liter hochgerechnet wurden. Ausgehend von einer Tages-speichel-Produktion von einem Liter müßte der Proband 24 Stunden lang kauen, um diese Werte zu erreichen. Selbst unter solch ungünstigen Bedingungen wäre nicht mit einer Kumulation von Quecksilber im Organismus zu rechnen, da bekanntlich bei der gastrointestinalen Aufnahme von Quecksilber weniger als 0,1 % der aufgenommenen Dosis an metallischem Quecksilber resorbiert wird (HENSCHLER, 1983).

Kritiker wenden ein, daß man auch geringste Mengen vermeiden sollte, da es zu einer Anhäufung kommen könnte. Diese These wird entkräftet durch die Fähigkeit des Körpers, Quecksilber über Faeces und Urin zu eliminieren (SCHIELE, 1982).

Zur Beurteilung der zeitweilig höheren Quecksilber-Konzentration in der Atemluft bzw. im Speichel müssen diese Werte in Relation zu den Blutwerten gesehen werden. Es besteht kein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen den Blutwerten und dem Quecksilber-Gehalt in der Atemluft bzw. im Speichel.

Erwartungsgemäß besteht eine positive Korrelation zwischen Speichel- und Luftkonzentrationen vor und nach dem Kauen, da das freiwerdende Quecksilber sich in der Ausatemluft verteilt und im Speichel gelöst wird.

Ein einfaches Rechenbeispiel soll verdeutlichen, welche geringen Mengen Quecksilber aus Amalgamfüllungen freigesetzt werden. Bei einem Atemvolumen von 9 m^3 pro Tag und einer Speichelproduktion von 1 Liter pro Tag käme es, ausgehend von den Medianwerten (Ausatemluft nach dem Kauen, Speichel nach dem Kauen) zu einer Mehrbelastung von 25 µg Quecksilber pro Tag - 24-stündiges Kauen vorausgesetzt. In Addition mit der umwelt- und ernährungsbedingten Quecksilber-Aufnahme würde dies einen Wert von ca. 50 µg Hg/Tag ergeben. Die kritische Dosis von ca. 400 µg Hg/Tag (Methyl-Quecksilber) würde damit noch lange nicht erreicht werden.

Die Quecksilber-Konzentrationen im Speichel und in der Atemluft sind durch Verfeinerung der Analysemethoden zwar meßbar, jedoch so gering, daß sich daraus kein nennenswerter Einfluß auf die toxikologisch relevanten Blut-Quecksilber-Konzentrationen ergibt. Gesundheitliche Schäden sind somit nicht zu erwarten.

6. Zusammenfassung

In Anlehnung an die Studie von SVARE et al. untersuchten wir mit Hilfe der kalten flammenlosen Atomabsorptions-Spektroskopie die Quecksilber-Konzentrationen in Blut, Ausatemluft und Speichel bei 54 Probanden mit Amalgamfüllungen und 15 Probanden ohne Amalgamfüllungen vor und nach zehnminütigem Kauen.

Dabei fanden wir folgende Ergebnisse:

1. Die Quecksilber-Konzentrationen im Blut dieser beiden Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant.
2. Der Quecksilber-Gehalt in der Ausatemluft und im Speichel ist bei den Probanden mit Amalgamfüllungen höher als bei Probanden ohne Amalgamfüllungen.
3. Während des zehnminütigen Kauens von Kaugummi steigen die Quecksilber-Werte im Speichel und in der Ausatemluft bei den Probanden mit Amalgamfüllungen geringfügig an.
4. Eine Abhängigkeit der Quecksilber-Konzentration in Speichel und Ausatemluft nach dem Kauen von der Anzahl der Amalgamfüllungen ist wahrscheinlich.

Durch die Verfeinerung der Analysenmethoden sind die Quecksilber-Konzentrationen im Blut, im Speichel und in der Ausatemluft meßbar. Sie sind jedoch so gering, daß gesundheitliche Schäden nicht zu erwarten sind.

7. Literaturübersicht

- BASS, M.H.: Idiosyncrasy to metallic mercury with special reference to amalgam fillings in the teeth.
J. Pediatr. 23, 215-218 (1943)
- BÖCKER, F.W., MARXKORS, R.: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft bei der Verarbeitung von Amalgamen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 127-129 (1965)
- BRAUN, H.: Pharmakologie des Deutschen Arzneibuchs, 6. Aufl., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m.b.H. Stuttgart 1946
- CHAN, K.C., SVARE, C.W.: Mercury vapor emission from dental amalgam.
J. Dent. Res. 51, 555-559 (1972)
- COOK, T.A., YATES, P.O.: Fatal mercury intoxication in a dental surgery assistant.
Brit. Dent. J. 127, 553-555 (1969)
- DJERASSI, E., BEROVA, N.: The possibilities of allergic reactions from silver amalgam restorations.
Int. Dent. J. 19, 481-488 (1969)
- ENGELMAN, M.A.: Mercury allergy resulting from amalgam restorations.
J.A.D.A. 66, 122-123 (1963)
- FERNSTRÖM, A.I.B., FRYKHOLM, K.O., HULDT, S.: Mercury allergy with eczematous dermatitis due to silver-amalgam fillings.
Brit. Dent. J. 113, 204-206 (1962)

- FEUERMAN, E.J.: Recurrent contact dermatitis caused by mercury in amalgam dental fillings.
Int. J. Dermatol. 44, 657-660 (1975)
- FRYKHOLM, K.O.: Exposure of dental personnel to mercury during work.
Swed. Dent. J. 63, 763-772 (1970)
- GASSER, F.: Neue Untersuchungsergebnisse über Amalgam.
Quintess. zahnärztl. Lit. 27, Ref. 5543 (1976)
- GAY, D.D., COX, R.D., REINHARDT, J.W.: Chewing releases mercury from fillings.
Lancet 1 (8123): 985-986 (1979)
- GROSSMAN, L.I., DANNENBERG, J.R.: Amount of mercury vapor in air of dental offices and laboratories.
J. Dent. Res. 28, 435-438 (1949)
- HENSCHLER, D., LEHNERT, G. (Hrsg.): Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte - Arbeitsmedizinisch-toxikologische Begründungen ("Quecksilber"),
Verlag Chemie, Weinheim 1983
- HERRMANN, D.: Zur Frage der Nebenwirkung bei der Versorgung kariöser Zähne mit Amalgam.
Forschungsinstitut für die zahnärztl. Versorgung, Köln 1982
- KESSEL, R., BENCZE, K., HAMM, M., SONNABEND, E.: Untersuchungen über die Quecksilberkonzentrationen in der Raumluft, im Blut und im Urin bei zahnärztlicher Tätigkeit in Klinik und freier Praxis.
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 457-461 (1980)

- KREISLER, M.: Untersuchungen zur normalen Belastung
des Menschen mit Quecksilber durch die Nahrung.
Med. Diss. Erlangen 1978
- KRÖNCKE, A., OTT, K., PETSCHLT, A., SCHALLER, K.-H.,
SZECSI, M., VALENTIN, H.: Über die Quecksilber-
konzentrationen in Blut und Urin von Personen
mit und ohne Amalgamfüllungen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 803-808 (1980)
- KROPP, R.: Neue Versuchsergebnisse über Amalgam -
Diskussionsbeitrag zur Originalarbeit von
F. Gasser.
Quintess. zahnärztl. Lit. 28, Ref. 5605 (1977)
- LESCHKE, E.: Die wichtigsten Vergiftungen. J.F. Lehmann
Verlag München 1933
- LUKAS, D.: Elektrische Strommessungen über Erkrankungen der
menschlichen Mundschleimhaut.
Dtsch. zahnärztl. Z. 36, 144 (1981)
- MAYER, R., DIEHL, W.: Abgabe von Quecksilber aus Amalgam-
füllungen in den Speichel.
Dtsch. zahnärztl. Z. 31, 855-859 (1976)
- MAYER, R.: Zur Toxizität von Quecksilber und/oder Amalgam.
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 450-456 (1980)
- MARXKORS, R.: Korrosionserscheinungen an Amalgamfüllungen
und deren Auswirkung auf den menschlichen Organismus.
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 53-56, 117-127, 170-174 (1970)
- MARXKORS, R.: Zur Frage der Nebenwirkung bei der Versorgung
kariöser Zähne mit Amalgam.
Forschungsinstitut für die zahnärztliche Versorgung,
Köln 1982

- RATEITSCHAK, K.H., RENGGLI, H.H., MÜHLEMANN, H.R.:
Parodontologie. Georg Thieme Verlag,
Stuttgart 1978
- RIETHE, P.: Zur Frage der Nebenwirkung bei der Versorgung kariöser Zähne mit Amalgam.
Forschungsinstitut für die zahnärztliche Versorgung, Köln 1982
- ROULET, J.F., METTLER, P., FRIEDRICH, U.: Studie über die Abrasion von Komposits im Seitenzahn-
bereich - Resultate nach 3 Jahren.
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 493-497 (1980)
- SCHALLER, K.-H., TRIEBIG, G., VALENTIN, H.: Hinweise für arbeitsmedizinisch-toxikologische Untersuchungen bei der Einwirkung gesundheitsgefährlicher Arbeitsstoffe. Arbeitsmedizin Aktuell,
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Loseblattwerk, Lieferung 3, November 1979
- SCHELENZ, R., DIEHL, J.F.: Quecksilbergehalte von Lebensmitteln des deutschen Marktes.
Z. Lebensm. Unters.-Forschung 151, 369-375 (1973)
- SCHIELE, R.: Quecksilber - umwelthygienische und arbeitsmedizinische Bedeutung.
Vortrag Erlangen 11.7.1979
- SCHIELE, R.: Zur Frage der Nebenwirkungen bei der Versorgung kariöser Zähne mit Amalgam.
Forschungsinstitut für die zahnärztliche Versorgung, Köln 1982

SCHIERLING, P., SCHALLER, K.-H.: Praxisgerechte Methoden zur quantitativen Bestimmung von Quecksilber in der Luft, im Urin und im Vollblut bei toxi-kologischer Fragestellung. Atomspektrometrische Spurenanalytik.
Verlag Chemie, Weinheim 1982

SCHLESIGER, K.: Flammenlose atomabsorptionsspektrogra-phische Untersuchungen über die Abgabe von Queck-silber aus neueren Legierungen von Kupfer- und Silberzinnamalgamfüllungen in Flüssigkeiten.
Med. Diss. Tübingen 1978

SCHNEIDER, V.: Untersuchungen über die Quecksilberabgabe aus Silber-Amalgam-Füllungen mit Hilfe der flammenlosen Atomabsorption.
Med. Diss. Frankfurt/M. 1976

STRASSBURG, M., SCHÜBEL, F.: Generalisierte allergische Reaktionen durch Silberamalgamfüllungen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 3-9 (1967)

SVARE, C.W., FRANK, C.W., KAI CHIU CHAN: Quantitative measure of mercury vapor emission from setting dental amalgam.
J. Dent. Res. 52, 740-743 (1973)

SVARE, C.W., PERSON, L.C., REINHARDT, J.W., BOYER, D.B., FRANK, C.W., GAY, D.D., COX, R.D.: The effect of dental amalgams on mercury levels in expired air.
J. Dent. Res. 60, 1668-1671 (1981)

TIEMANN, B.: Zur Frage der Nebenwirkung bei der Ver-sorgung kariöser Zähne mit Amalgam.
Forschungsinstitut für die zahnärztliche Ver-sorgung, Köln 1982

- TILL, T., WAGNER, G.: Untersuchungen zur Löslichkeit
der Bestandteile von Amalgamfüllungen während
des Kau- und Trinkaktes.
Zahnärztl. Rdsch. 82, 953-968, 1004-1006 (1973)
- TRAUB, E.F., HOLMES, R.H.: Dermatitis and stomatitis from
the mercury of amalgam fillings.
Arch. Derm. Syph. 38, 349-357 (1938)

8. Anhang

a) Einzelergebnisse der Probanden ohne Amalgamfüllungen

Prob.	Alter (Jahre)	Geschl.	Anzahl Am.Fllg. Flächen	Anzahl Am.Fllg.	Hg-Gehalt im Blut ($\mu\text{g/l}$)	Hg-Gehalt in der Luft ($\mu\text{g/m}^3$)		Hg-Gehalt im Speichel ($\mu\text{g/l}$)	
						vor	nach	vor	nach
F.L.	30	m	0	0	0,16	0,09	0,05	0,1	0,1
L.H.	29	m	0	0	0,53	0,15	0,07	1,2	0,4
B.B.	28	w	0	0	0,49	0,04	0,06	0,1	0,1
S.M.	55	w	0	0	0,41	0,06	0,08	0,5	0,8
K.T.	35	m	0	0	0,55	0,01	0,04	0,1	0,1
E.K.	30	m	0	0	1,04	0,05	0,06	0,3	0,5
J.R.	23	m	0	0	0,70	0,02	0,02	0,3	0,7
W.A.	21	w	0	0	0,80	0,04	0,05	0,3	0,4
S.B.	28	w	0	0	0,97	0,05	0,03	0,5	0,3
M.R.	28	m	0	0	1,32	0,07	0,05	0,7	0,5
Z.M.	22	m	0	0	3,30	0,05	0,04	0,7	0,4
Z.T.	24	m	0	0	0,97	0,04	0,02	0,3	0,4
N.C.	20	w	0	0	0,97	0,02	0,05	0,1	0,1
Ö.H.	23	m	0	0	0,35	0,04	0,03	2,7	1,5
E.U.	27	m	0	0	0,97	0,06	0,02	0,1	0,2

b) Einzelergebnisse der Probanden mit Amalgamfüllungen

Prob.	Alter (Jahre)	Geschl.	Anzahl Am.Fllg. Flächen	Anzahl Am.Fllg.	Hg-Gehalt im Blut ($\mu\text{g/l}$)	Hg-Gehalt in der Luft ($\mu\text{g/m}^3$)		Hg-Gehalt im Speichel ($\mu\text{g/l}$)	
						vor	nach	vor	nach
A.G.	25	m	2	1	0,57	0,18	0,49	4,2	5,6
H.G.	25	m	2	2	0,37	0,06	0,15	1,5	0,9
K.P.	22	w	3	3	0,34	0,32	1,14	3,4	2,6
M.K.H.	24	m	3	2	0,18	0,25	0,30	0,9	1,1
P.F.	39	m	4	3	1,20	0,03	0,90	0,6	6,3
F.U.	22	w	4	3	0,37	0,05	0,32	3,2	9,9
A.U.	22	m	4	2	0,80	0,05	0,86	0,9	0,3
B.S.	25	w	5	2	0,49	0,33	0,27	0,6	0,6
P.G.	26	m	6	5	0,37	0,18	0,21	5,1	1,5
D.A.	18	w	6	5	0,82	0,49	1,00	3,2	17,1
K.M.	22	m	6	6	0,18	0,80	3,20	10,2	13,2
K.H.P.	27	m	7	5	0,64	1,75	2,64	23,2	34,5
F.J.	24	m	7	5	0,60	0,27	2,80	7,9	15,4
H.S.	31	m	8	5	0,12	0,20	0,24	2,3	6,5
B.N.	24	m	8	6	1,00	0,07	0,90	1,3	0,7
F.C.	21	w	8	7	0,64	0,40	1,20	15,8	15,0
B.H.	22	m	8	6	0,92	0,03	1,00	1,6	8,1
D.H.	28	m	8	5	1,38	0,30	4,00	2,6	4,5
O.G.	22	m	8	5	0,82	0,56	2,29	2,3	1,7
B.P.	20	m	9	8	0,27	0,40	0,50	2,9	3,0
S.R.	30	w	10	7	0,83	0,86	3,34	8,5	20,0
M.P.	24	m	10	7	0,37	0,16	1,10	5,3	9,3

Prob.	Alter (Jahre)	Geschl.	Anzahl Am.Fllg. Flächen	Anzahl Am.Fllg.	Hg-Gehalt im Blut ($\mu\text{g/l}$)	Hg-Gehalt in der Luft ($\mu\text{g/m}^3$)		Hg-Gehalt im Speichel ($\mu\text{g/l}$)	
						vor	nach	vor	nach
O.A.	23	w	11	9	0,15	0,09	4,30	1,7	7,9
G.U.	19	m	11	5	0,66	0,80	9,50	5,7	5,4
N.F.	32	w	12	11	0,82	0,11	0,15	0,7	0,9
K.U.	26	m	12	7	1,48	0,48	1,95	14,2	27,1
B.R.	27	m	12	8	0,37	0,07	0,60	4,0	6,2
G.	24	m	13	6	0,33	0,17	0,71	40,0	193,8
K.A.	15	w	13	7	0,66	0,55	1,50	23,7	14,8
D.J.	26	m	15	7	0,79	0,50	1,40	5,1	5,0
S.U.	32	m	15	7	0,75	0,95	7,60	28,5	86,5
H.W.	33	m	16	9	0,24	0,35	0,95	4,6	13,9
M.R.	23	m	16	10	1,69	3,10	12,10	18,5	24,0
L.F.	33	m	17	13	0,33	1,60	3,70	31,1	37,9
S.U.	23	m	17	11	1,32	0,40	2,90	1,4	2,8
A.H.	22	w	18	7	1,80	0,27	1,50	8,4	23,9
E.J.	19	m	18	9	0,32	0,34	4,25	19,2	12,6
M.R.	27	m	19	8	1,62	1,60	2,60	21,4	17,4
H.C.	23	m	20	9	0,27	0,14	2,90	13,9	42,0
A.S.	21	m	21	10	0,46	0,83	3,70	18,7	65,6
R.H.	19	m	22	15	0,82	0,20	1,10	4,5	2,8
S.M.	25	w	23	9	0,41	0,30	1,10	3,4	21,6
C.G.	35	m	24	12	0,80	0,20	2,10	25,3	109,7
B.M.	25	m	25	12	0,42	0,32	2,10	5,3	22,6
B.G.	28	w	25	11	0,74	0,14	0,65	3,2	9,6

Prob.	Alter (Jahre)	Geschl.	Anzahl Am.Fllg. Flächen	Anzahl Am.Fllg.	Hg-Gehalt im Blut ($\mu\text{g/l}$)	Hg-Gehalt in der Luft ($\mu\text{g/m}^3$)		Hg-Gehalt im Speichel ($\mu\text{g/l}$)	
						vor	nach	vor	nach
K.J.	23	m	25	15	0,37	0,14	1,00	12,2	51,5
B.P.	24	m	26	11	0,98	0,20	0,50	11,7	120,7
B.E.	29	m	28	9	0,53	0,40	2,30	8,2	32,7
K.N.	28	m	28	14	1,36	1,70	12,70	143,0	182,0
P.M.	22	m	29	10	0,24	0,30	4,30	7,0	50,9
Z.C.	23	w	30	15	0,56	0,50	3,50	20,6	36,2
K.W.	28	m	35	16	0,98	0,45	2,40	3,3	37,4
K.J.	23	m	37	15	0,55	0,20	5,10	5,0	6,8
W.M.	25	w	40	12	0,99	0,30	1,40	8,0	17,4

Ich bedanke mich bei

Herrn Professor Dr. Kröncke für die Überlassung
des Themas,

Herrn Oberarzt Priv.-Doz. Dr. Ott für die freundliche
Unterstützung bei der Lösung der verschiedenen wissen-
schaftlichen Probleme,

Herrn Professor Dr. Valentin, der es mir ermöglichte,
im Institut für Arbeitsmedizin die Versuche durchführen
zu können,

Herrn Dipl. Ing. Schaller und Frau Chr. Oefele für
die Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Versuche,

Herrn Weltle für seine Hilfe bei der Auswertung der
Ergebnisse,

allen Probanden, die sich für meine Versuche zur
Verfügung gestellt haben und

dem Universitätsbund der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg für die finanzielle Unterstützung beim
Kauf der Saugpumpe.

Lebenslauf

Geboren am 17.4.1953	in Adelsdorf als 2. Kind des Zahnarztes Franz Loh und seiner Ehefrau Sieglinde, geb. Fröhlich.
Ab September 1959	Besuch der Volksschule in Adelsdorf, Landkreis Erlangen.
September 1963	Übertritt in das Naturwissenschaftliche Gymnasium in Höchststadt.
September 1964	Umzug nach Erlangen und Eintritt in das Ohm-Gymnasium.
Juni 1973	Abitur.
Ab Juli 1973	Grundwehrdienst.
Oktober 1974	Beginn einer Lehre als Zahntechniker.
Februar 1977	Gesellenprüfung als Zahntechniker.
Juli 1976	Aufnahme des Studiums der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen.
Dezember 1981	Zahnärztliche Prüfung.
Seit 1.4.1982	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie.

